23911/1

Lane Medical Library

UEBER DIE WIRKUNG VON WASSER UND ANISOTONISCHEN KOCHSALZLÖSUNGEN AUF DIE GRUNDFUNCTIONEN DER QUERGESTREIFTEN MUSKELSUBSTANZ UND DER MOTORISCHEN NERVEN.

Lane Medical Library

INAUGURAL-DISSERTATION

WELCHE

ZUR ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

IN DER

MEDICIN UND CHIRURGIE

MIT ZUSTIMMUNG

DER MEDICINISCHEN FACULTÄT DER FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

AM 22. DECEMBER 1903, NACHMITTAGS 2 UHR

NEBST DEN ANGEFÜGTEN THESEN

ÖFFENTLICH VERTHEIDIGEN WIRD

JOSEPH HÄRTL,

PRAKT. ARZT, BERLIN.

OPPONENTEN:

HERR A. HELLMANN, PRAKT. ARZT, HERR E. TÜRKHEIM, PRAKT. ARZT,
HERR DR. MED. E. KLONINGER, PRAKT. ARZT.

LEIPZIG,

VEIT & COMP.

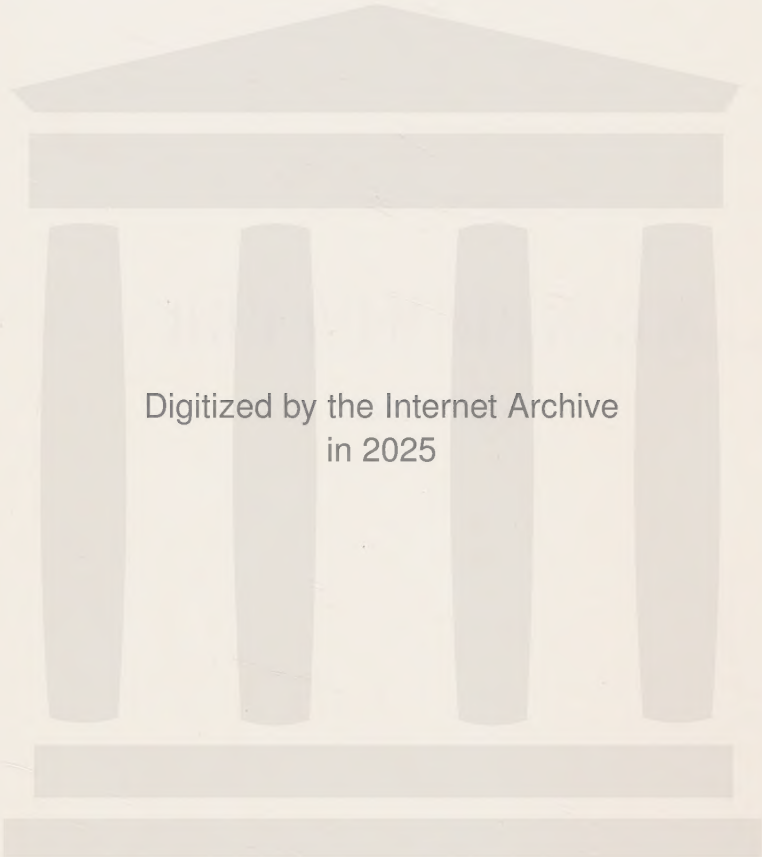
1903.

Abgedruckt im
Archiv für Anatomie und Physiologie. 1904. Physiologische Abtheilung.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

MEINER MUTTER

GEWIDMET.


Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/ueberdiewirkungv0000jose_s3k0

Einleitung.

Im Jahre 1880 veröffentlichte W. Biedermann[1] Untersuchungen über die Einwirkung von Wasser auf die Lebenseigenschaften der quergestreiften Muskeln, welche in mehrfacher Hinsicht das grösste Aufsehen zu erwecken berechtigt waren. Er zeigte zunächst, dass ein durch $^1/_2$stündige Einwirkung destillirten Wassers starr, d. h. unerregbar gewordener, seiner Contractilität beraubter Froschmuskel doch noch in demselben Sinne und fast in gleichem Grade elektromotorisch wirksam sein könne, wie ein unversehrter Muskel. Hiermit war einmal bewiesen, dass die elektromotorische Fähigkeit des Muskels, im Gegensatz zu der durch E. du Bois-Reymonds classische Untersuchungen in Aufnahme gekommenen Ansicht, eine von der Verkürzungsfähigkeit zu trennende Function, und zweitens, dass die „Wasserstarre", im Gegensatz zu der bis dahin verbreiteten, hauptsächlich auf die Autorität W. Kühne's sich stützenden Meinung, nicht mit der gewöhnlichen Totenstarre im Wesentlichen identisch, sondern ein davon principiell verschiedener Zustand sei. Schon J. Ranke[2] hatte gefunden, dass der Demarcationsstrom des ruhenden, durch Chloroform, Aether oder Amyl unerregbar gemachten Muskels nicht nur nicht aufgehoben, sondern

[1] W. Biedermann, Beiträge zur allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie. *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien.* 1880. 3. Abthlg. Bd. LXXXI. S. 108.

[2] J. Ranke, *Die Lebensbedingungen der Nerven.* Leipzig 1868. S. 54 f.

unter Umständen sogar verstärkt ist. Doch wurde erst durch Biedermann's Entdeckungen die Aufmerksamkeit auf diese mit Unrecht in Vergessenheit gerathenen Erscheinungen gelenkt und auf ihre principielle Bedeutung hingewiesen. Am selben Orte fügt dann Biedermann die weitere wichtige Beobachtung hinzu, dass es ihm gelungen sei, die Erregbarkeit eines wasserstarren Sartorius theilweise (bisweilen vollständig) wieder herzustellen, und zwar indem er den durch 1stündiges Eintauchen in destillirtes Wasser in den Zustand der Wasserstarre versetzten Muskel einige Zeit in 2procent. Kochsalzlösung brachte, wobei der Muskel den grössten Theil des aufgenommenen Wassers verliere und sein normales Aussehen fast vollständig wiedergewinne. Es empfehle sich, sobald die ersten Spuren wiederkehrender Erregbarkeit sich zeigten, was in der Regel nach 5 bis 10 Minuten der Fall sei, den Muskel in 0·6procent. Kochsalzlösung zu tauchen, da ein allzu langes Verweilen in der stärkeren Salzlösung die Erregbarkeit ebenfalls schädige.

In einer späteren Mittheilung kommt Biedermann auf diese Thatsachen zurück[1] und berichtet dazu weiter, dass es gelinge, an einem curarisirten Sartorius, von dem nur ein Theil sich im Zustande der Wasserstarre befinde, durch elektrische Reizung des wasserstarren Theiles Zuckungen in dem unversehrten Theile des Muskels auszulösen.

Auch diese Angabe verdiente die höchste Beachtung. Wenn sie sich bestätigte, war damit erwiesen, dass wie die Fähigkeit zur Erzeugung elektromotorischer Wirkungen, so auch die Reizbarkeit und das Reizleitungsvermögen selbstständige, nicht wie man früher meinte, an das mechaniche Verkürzungsvermögen gebundene Functionen der Muskelsubstanz seien. Die Angabe von Biedermann wurde von Engelmann[2] bestätigt, der sie in dieser Weise formulirt: „Der Muskel wird in der ganzen Ausdehnung, in welcher das Wasser ihn seiner Contractilität beraubt, gleichsam zum Nerv.“ Er wiederholte den Versuch am Froschherzen und konnte auf diese Weise zeigen, dass auch im Myocard directe Reizbarkeit und motorische Reizleitung noch bestehen bleiben können bei vollständig aufgehobener Contractilität.

Darauf erschien 1895 eine Arbeit Kaiser's[3], in welcher der Autor die Angaben Biedermann's über das elektromotorische Verhalten des

---

[1] W. Biedermann, Ueber die Einwirkung des Aethers auf einige electromotorische Erscheinungen an Muskeln und Nerven. *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien.* 1888. 3. Abthlg. Bd. XCVII.

[2] Th. W. Engelmann, Beobachtungen und Versuche am suspendirten Herzen. Pflüger's *Archiv.* 1894. Bd. LVI. S. 149.

[3] K. Kaiser, Ueber die Fortleitung der Erregung im wasserstarren Muskel. *Zeitschrift für Biologie.* 1895. Bd. XXXI. S. 244.

wasserstarren Muskels zwar im Allgemeinen bestätigt, jedoch angiebt, es sei ihm nie die Wiederbelebung des wasserstarren Muskels gelungen. Auch bestreitet er auf Grund seiner Versuche die Leitungsfähigkeit das wasserstarren Theiles eines Sartorius für motorische Reize. Der Erfolg der Reizung habe auf Stromschleifen beruht, welche den nicht wasserstarren Theil des Muskels getroffen hätten.

Hierdurch schienen die von Biedermann gemachten Angaben wieder in Frage gestellt. Einer Anregung des Herrn Prof. Engelmann folgend, unternahm ich eine erneute Prüfung der Angelegenheit.

Zunächst sollte die Frage der Wiederherstellung wasserstarrer Muskeln durch Kochsalzlösung geprüft werden, unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens, welches Contractilität, Reizbarkeit und Leitungsvermögen unter Einfluss beider Arten von Flüssigkeiten zeigen. Obschon die Umstände es mir nicht gestatteten die erforderlichen Versuche in der durch das Interesse des Gegenstandes gebotenen Vollständigkeit und Mannigfaltigkeit anzustellen, lieferten sie doch eine genügende Zahl sicherer positiver Ergebnisse, so dass ihre Veröffentlichung gerechtfertigt erscheint. Auch gestattete mir Herr Prof. Engelmann die Benutzung und Publication einer Reihe bereits vor Jahren von ihm über den Gegenstand angestellter, bisher nicht veröffentlichter Versuche. Dabei ergab sich auch Veranlassung, einige Versuchsreihen an Nerven hinzuzufügen, deren Resultate ebenfalls mitgetheilt werden sollen.

Uebersicht älterer Angaben.

Schon aus sehr alter Zeit liegen Beobachtungen über die Wirkungen des Wassers bezüglich des Wasserverlustes auf Muskeln und Nerven vor. Bereits Albrecht v. Haller[1] citirt darauf bezügliche Angaben von Ridley, Bohn, Vieussens u. A., wonach Muskeln sich bei Wasserinjection in die Arterien zusammenziehen, ehe sie absterben. Die erste Beobachtung einer Wiederbelebung von Muskeln durch Aenderung des Wassergehaltes scheint von Fontana[2] herzurühren, wobei wir von Leuwenhoeks und Anderer Angaben über Wiedererwachen eingetrockneter niederer Thiere (Infusorien, Rotatorien, Tardigraden, Würmer u. a.) absehen. Fontana's erst durch A. Kölliker 1858[3] der Vergessenheit entrissene Beobachtung war folgende: „Bei einer durch Ticunas getödteten Testudo graeca wurde das Herz, nachdem schon verschiedenes mit demselben vorgenommen worden war, in situ der Sonne ausgesetzt. Das Herz wurde schnell trocken und ebenso

[1] Albrecht v. Haller, *Elementa physiol.* 1758. Bd. IV. p. 544.

[2] Fontana, *Ueber das Viperngift.* Berlin 1787. S. 312.

[3] A. Kölliker, Ueber die Vitalität der Nervenröhren der Frösche. *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie.* 1858. Bd. IX. S. 417.

die Herzohren zum Theil, und alles kam zur Ruhe. Nun wurde das Herz befeuchtet; die Kammer blieb unbeweglich, aber die Herzohren fingen wieder an zu schlagen und pulsirten 18 Stunden lang, bis sie wieder trocken wurden".[1] Kölliker hat diesen Versuch am Froschherzen wiederholt. Er berichtet[2]: „Nachdem ein solches 2 Stunden und 10 Minuten an der Luft gelegen hatte, war dasselbe trocken und still. Dann mit Wasser übergossen, pulsirten schon nach 2 Minuten die Vorhöfe wieder, wogegen allerdings die Kammer, wie in Fontana's Experiment, nicht wieder zum Leben kam. — Ein zweites Herz war nach 2 Stunden trocken und ohne Pulsationen. Mit Kochsalz von $^1/_2$ Procent übergossen, kamen nach 30 Minuten die Vorhöfe deutlich aber schwach zum Schlagen, wogegen auch in diesem Falle die Kammer ruhig blieb. — Einige Versuche, die darauf ausgingen, trockene Muskeln wieder zum Leben zu bringen, hatten negativen Erfolg, doch glaube ich, dass bei einer grösseren Anzahl von Experimenten auch nach dieser Richtung ein Resultat sich erzielen lassen wird."

Zu der letzteren Erwartung berechtigten Kölliker die erfolgreichen Versuche[3], welche er 1856 über Wiederbelebung getrockneter oder durch concentrirte Salzlösungen (Kochsalz, Glaubersalz, Natriumphospat u. a.) ihrer Erregbarkeit beraubter motorischer Froschnerven (Ischiadicus) angestellt hatte. Diese Versuche waren durch Ordenstern[4] bemängelt und auf angebliche physikalische Irrthümer zurückgeführt worden. Unfähigkeit der getrockneten Nerven, die zur Reizung verwendeten elektrischen Ströme zu leiten, sollte ein Aufhören der Erregbarkeit vorgetäuscht haben. Es war Kölliker ein Leichtes, die Einwürfe von Ordenstern zu widerlegen.[5] Schon die Angabe genügte, dass die Wiederbelebung erst längere Zeit (6, $8^1/_2$, 10 Minuten) nach dem Einlegen der getrockneten Nerven in destillirtes Wasser, und nicht wie die elektrische Leitfähigkeit, sofort danach wiederkehrte. Er fügt die wichtige weitere Thatsache hinzu, dass auch durch lange Einwirkung von Wasser unerregbar gewordene Nerven wiederbelebt werden können, wenn man sie für längere Zeit in starke Salzlösungen (Nat. phosph. 3 procent., Kochsalz von 3 Procent und höher) legt. Aus seinen Angaben geht eine ausserordentliche Resistenz der Nerven gegen maximale Aenderungen des Wassergehaltes auch insofern hervor, als die Zeiten, deren es zur Vernichtung der Erregbarkeit einerseits und zur Wiederherstellung andererseits bedurfte, sehr lang waren. Bei Einwirkung

[1] Citat nach Kölliker, *Zeitschrift für wissensch. Zoologie.* 1858. S. 422.
[2] A. a. O. S. 422.
[3] A. Kölliker, *Würzburger Verhandlungen.* 1856. Bd. VII. S. 145.
[4] Ordenstern, *Zeitschrift für rat. Medicin.* 1857. 3. R. II. S. 109.
[5] A. Kölliker, *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie.* 1858. Bd. IX. S. 418.

von Wasser war die Reactionsfähigkeit frühestens nach 1 Stunde und 17 Minuten, in zwei Versuchen erst nach 3 Stunden geschwunden. Nach dem Einlegen in 3procent. Salzlösung kehrte sie frühestens in 22 Minuten, öfter aber erst nach fast 1 Stunde zurück.

Aehnliche Angaben über Wiederbelebung wasserstarrer Froschmuskeln machte ungefähr gleichzeitig v. Wittich.[1] Er tauchte die von der Haut entblösste untere Extremität des Frosches längere Zeit in reines Wasser, bis die Muskeln anscheinend wasserstarr waren. Bestreuen mit Kochsalzpulver rief wieder Zuckungen hervor. Inzwischen beweisen diese Versuche, wie Heubel schon bemerkt hat, wenig, da die Muskeln nach v. Wittich's Angabe meist noch auf galvanische Reize reagirten, also nicht völlig „starr" waren. Kühne[2], der sie wiederholte, gelang eine Wiederbelebung völlig wasserstarrer Muskeln nicht, ja er leugnete sogar, wie oben schon angedeutet, dass Wiederherstellung der Erregbarkeit überhaupt möglich sei. Preyer[3] andererseits wollte am selben Object (enthäutete Unterextremität des Frosches) positive Resultate erhalten haben, nicht nur an durch Wasser, sondern auch an durch Wärme von 40° bis 45° C. oder durch Chloroform „todtenstarr" gemachten Muskeln durch Eintauchen in Kochsalzlösung von 7 bis 10 Procent und Wiedereröffnung des Blutzutrittes durch Lösung einer am Oberschenkel vorher angelegten Massenligatur. Seine Arbeit enthält noch mancherlei, wie sich später herausstellte, unrichtige Angaben u. a. in Bezug auf die elektromotorische Wirksamkeit. Ihre Resultate konnten von Niemand bestätigt werden. Was an ihnen etwa richtig war, ergaben erst Biedermann's im Eingang erwähnte, gründliche Versuche.

An den Nerven hatte J. Ranke[4] inzwischen Köllikers Versuche wiederholt und bestätigt, und Heubel's[5] ausführliche Untersuchungen am Herzen lieferten eine überraschende Fülle von Beweisen für die Wiederbelebungsfähigkeit dieses Organs durch Blut aus den verschiedensten Starrezuständen, darunter auch aus der Wasser- und Salzstarre. Doch gelang ihm Wiederbelebung aus der Wasserstarre durch 2 procent. Kochsalzlösung nach Biedermann nicht. Die Möglichkeit, die quergestreifte Musculatur des Herzens durch Aenderung des Wassergehaltes ihrer Reactionsfähigkeit zu berauben und diese nachträglich wieder herzustellen, konnte nach diesen Versuchen nicht mehr bezweifelt werden, so wenig wie nach den Kölliker'-

[1] von Wittich, Virchow's *Archiv.* 1858. Bd. XIII. S. 431.

[2] Kühne, *Archiv f. Anat. u. Physiol.* 1859. Physiol. Abthlg. S. 798.

[3] Preyer, Die Wiederbelebung totenstarrer Muskeln. *Centralblatt für die med. Wissenschaft.* 1864. S. 769.

[4] J. Ranke, *Die Lebensbedingungen der Nerven.* Leipzig 1868. S. 54 f.

[5] E. Heubel, Die Wiederbelebung des Herzens nach dem Eintritt vollkommener Herzmuskelstarre. Pflüger's *Archiv.* 1889. Bd. XLV. S. 461.

schen Experimenten dieselbe Möglichkeit für die Nervenfasern. Um so mehr durfte man erwarten, dass bei genügend vorsichtigem Verfahren auch die gewöhnlichen quergestreiften Muskeln, zumal der Kaltblüter, keine Ausnahme bilden, die Kaiser'schen Angaben also auf unzweckmässiger Versuchsanstellung oder Täuschungen beruhen würden. Es liegen denn auch bereits mehrere Bestätigungen der Biedermann'schen Angaben vor. So führt L. Hermann[1] die Wiederbelebung wasserstarrer Froschmuskeln (Sartorius) durch 2 procentige Kochsalzlösung in seinem Physiologischen Practicum aus, und Meirowsky[2] fand, dass wie die Erregbarkeit so auch das „galvanische Wogen" nach 10 Minuten langer Behandlung mit physiologischer Kochsalzlösung wiederkehren können. Es existirt inzwischen noch keine nähere experimentelle Untersuchung des Gegenstandes mit specieller Berücksichtigung der Frage, ob und in wie weit die drei Grundfunctionen der Muskelsubstanz: Reizbarkeit, Reizleitungsvermögen und Contractilität, sich unter dem Einflusse des Wassers, bezüglich anisotonischer neutraler Salzlösungen etwa verschieden verhalten. Die Frage, welche in mehrfacher Hinsicht von allgemeinem physiologischem Interesse ist — schon deshalb, weil sie mutatis mutandis bei allen reizbaren und reizleitenden organischen Gebilden des Thier- und Pflanzenreiches wiederkehrt — ist neuerdings wieder lebhafter discutirt und in verschiedenem Sinne beantwortet worden.[3] Die folgenden Versuche hoffen durch das neue thatsächliche Material, welches sie bringen, zu ihrer Entscheidung beizutragen.

---

[1] L. Hermann, *Leitfaden für das physiologische Practicum.* Leipzig 1898. S. 70.

[2] E. Meirowsky, Beiträge zur Kenntniss des galvanischen Wogens. Pflüger's *Archiv.* 1898. Bd. LXXIII. S. 442.

[3] Th. W. Engelmann, Ueber die Wirkungen der Nerven auf das Herz. *Archiv f. Anat. u. Physiol.* 1900. Physiol. Abthlg. S. 315. — Ueber die physiologischen Grundvermögen der Herzmuskelsubstanz u. s. w. *Ebenda.* 1903. S. 109. — H. E. Hering, Ueber die gegenseitige Abhängigkeit der Reizbarkeit, der Contractilität und des Leitungsvermögens der Herzmuskelfasern u. s. w. Pflüger's *Archiv.* 1901. Bd. LXXXVI. S. 533.

Vergleiche auch ferner: Werigo, Zur Frage über die Beziehung zwischen Erregbarkeit und Leitungsfähigkeit der Nerven. Pflüger's *Archiv.* 1899. Bd. LXXVI. S. 552. — A. Noll, Ueber Erregbarkeit und Leitungsvermögen der motorischen Nerven unter dem Einfluss von Giften und Kälte. *Zeitschrift für allgemeine Physiologie.* 1903. Bd. III. S. 57. — G. Weiss, La conductibilité et l'excitabilité des nerfs. *Journ. de physiol. et de patholog. générale.* 1903. T. V. p. 1. — Derselbe, Influence des variat. de températ. et des actions mécaniques sur l'excitabilité et la conductibilité des nerfs. *Ebenda.* p. 31. — Fr. W. Fröhlich, Erregbarkeit und Leitungsfähigkeit der Nerven. *Zeitschrift für allgemeine Physiologie.* 1903. S. 148. Die Abhandlungen der letztgenannten drei Autoren sind erst erschienen, nachdem meine Arbeit bereits abgeschlossen und niedergeschrieben war.

Eigene Versuche.

1. Versuche an quergestreiften Muskeln.

1. Einfluss von Wasser und hypotonischer Kochsalzlösung auf Reizbarkeit und Contractilität.

Vorweg sei bemerkt, dass ich alle meine Versuche an dem M. sartorius stark curarisirter Frösche (Rana esculenta) anstellte. Und zwar hielt ich mich bei der Präparation des Muskels streng an die von Biedermann[1] angegebene Methode, da es offenbar von der grössten Bedeutung für die Einwirkung des destillirten Wassers oder einer hypotonischen Kochsalzlösung ist, ob man einen vielfach verletzten oder einen möglichst intacten Muskel dieser Einwirkung aussetzt. Ohnehin werden stets die äusseren Schichten des Muskels am stärksten geschädigt, so dass auf eine Wiederherstellung der Contractionsfähigkeit der äusseren Fasern kaum zu hoffen ist zu einer Zeit, wo die Fasern im Innern des Muskels gerade erst in den Zustand der vollständigen Wasserstarre eingetreten sind. Um gute Resultate zu erhalten, kommt es, wie ich weiter unten nochmals hervorheben werde, darauf an, den Muskel in allen seinen Theilen möglichst gleichmässig der Wasserwirkung auszusetzen.

Zur Reizung des Muskels benutzte ich Oeffnungsinductionsschläge eines du Bois'schen Schlitteninductoriums, dem zwei Accumulatorzellen von etwa 4 Volt Klemmspannung den primären Strom lieferten.

Die erste Reihe meiner Versuche hatte nur das Ziel, festzustellen, ob wasserstarre Muskeln durch Behandlung mit 2 procentiger und darauf folgender Behandlung mit 0·5 procentiger Kochsalzlösung wieder contractionsfähig gemacht werden können.

Nach Kaiser ist eine Wiederherstellung der Contractionsfähigkeit unmöglich bei einem wasserstarren Muskel, der auf stärkste Reize nicht mehr reagirt, wovon man sich allerdings durch eine der graphischen Methoden überzeugen müsse. Auch sei der Reiz an verschiedenen Stellen des Muskels anzubringen, wobei sich dann häufig noch Erregbarkeit an einzelnen Stellen zeige, während sie an anderen Stellen schon erloschen ist. Der Reiz träfe dann im Innern des Muskels noch nicht hinreichend geschädigte Fasern. Diese sollen bei einer in diesem Stadium der Wasserstarre möglichen Wiederherstellung der Contractionsfähigkeit die wirksamen Fasern darstellen.

Ich stellte meine Versuche in der Weise an, dass ich das Beckenende des Muskels vermittelst eines gleichzeitig stromzuführenden Kupferdrahtes,

[1] W. Biedermann, Beiträge zur allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie. *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien.* 3. Abthlg. 1880. Bd. LXXXI. S. 76.

der durch das Acetabulum gestossen war, am Boden eines Becherglases befestigte, indem ich das hakenförmig gebogene Ende des Drahtes in einen am Boden des Glases festgekitteten Haken einhängte. Der Muskel wirkte vermittelst eines am Stumpf der Tibia befestigten Fadens auf einen schwach belasteten Schreibhebel, der die Contractionen $3^1/_2$ Mal vergrössert auf das berusste Glanzpapier des Kymographions aufzeichnete. Die zweite Elektrode legte ich bei jedem Reiz von neuem an, um die Reizstelle wechseln zu können. Ausserdem standen mir durch Umlegung einer eingeschalteten

Fig. 1.

Wippe stets noch ein Paar Handelektroden von 1 mm Abstand zur Anbringung von Reizen zur Verfügung.

Nachdem ich mich durch Aufzeichnung einer maximalen Zuckung von der Tauglichkeit des Präparates überzeugt hatte, füllte ich das Gefäss mit destillirtem Wasser bezw. hypotonischer Kochsalzlösung so weit, dass der Muskel vollständig untergetaucht war, und schrieb die Zuckungen auf, welche auf die von Zeit zu Zeit erfolgenden Reize hin eintraten.

In einigen Fällen beobachtete ich nun eine Zeit lang erhöhte Reactionsfähigkeit unter der Einwirkung des destillirten Wassers, die sich einmal in

Steigerung der Zuckungshöhe bei submaximalen Reizen, dann aber auch im Auftreten spontaner Zuckungen äusserte. Immer aber trat bald eine Abnahme der Anspruchsfähigkeit ein, die Reizschwelle sank tiefer und tiefer, bis endlich auch bei ganz aufgeschobenen Rollen keine Zuckungen mehr auszulösen waren.

Die Höhe der Zuckungen für maximale Reize sank dabei innerhalb 15 bis 20 Minuten allmählich auf Null herab. Und zwar fiel sie im Beginn der Wassereinwirkung stets schnell ab, während sich der letzte Rest der Contractilität für bedeutend verstärkte Reize verhältnissmässig lange

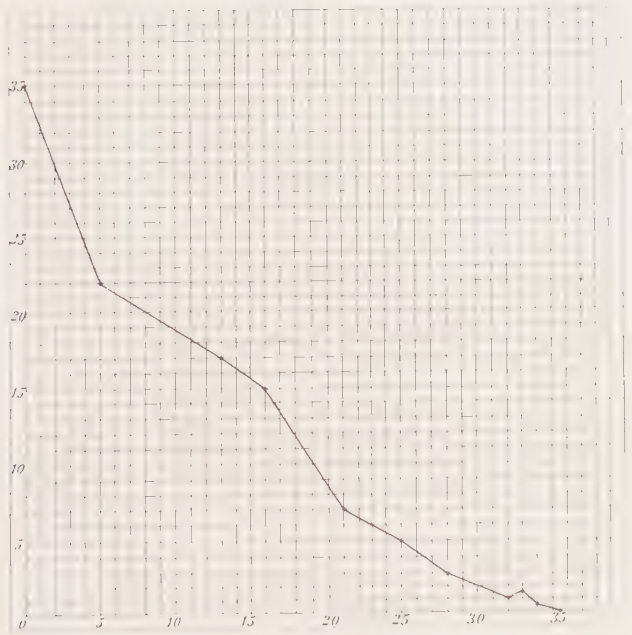


Fig. 2.

erhielt. Den Abfall der Zuckungshöhen für maximalen Reiz als Function der Dauer der Wassereinwirkung habe ich in den beigegebenen Curven (Figg. 1 und 2) zur Darstellung gebracht, in welchen die Ordinaten die Zuckungshöhen in Millimetern, die Abscissen die Dauer der Wassereinwirkung in Minuten angeben.

Die Punkte auf den Curven entsprechen den im Versuch erhaltenen Zuckungen.

Die Einwirkung des destillirten Wassers unterbrach ich stets erst dann, wenn ich bei Rollenabstand 0 und bipolarer Abtastung des Muskels keine noch so geringe Zuckung mehr erhalten konnte! Dann heberte ich das

destillirte Wasser bezw. die hypotonische Kochsalzlösung aus und ersetzte sie durch eine 2procentige Kochsalzlösung, die nach etwa 5 bis 10 Minuten wieder durch eine 0·5procentige Lösung ersetzt wurde.

Es traten nun auf starke Reize einige Male schon während der Einwirkung der 2procentigen Kochsalzlösung die ersten minimalen Zuckungen auf, die allmählich an Intensität zunahmen und nicht selten endlich zur ursprünglichen Höhe wie vor der Wassereinwirkung wieder anwuchsen.

Ich stellte im Ganzen auf diese Weise 19 Versuche an, von denen 11 positive Resultate ergaben. Unter diesen sind 3 Versuche, bei welchen ich die Wasserstarre durch Einwirkung von 0·1procentiger Kochsalzlösung hervorrief.

Es betrug bei nachfolgender Wiederherstellung der Contractionsfähigkeit die längste Dauer der Einwirkung von destillirtem Wasser 36 Minuten (s. Versuch Nr. 4 der Tabelle S. 15), die längste Dauer der Einwirkung von 0·1procentiger Kochsalzlösung 37 Minuten (s. Versuch Nr. 10).

Das negative Resultat, welches einige Versuche ergaben, lässt sich zum Theil auf Versuchsfehler zurückführen und auf die ungünstigen Verhältnisse, unter welchen dieser Theil meiner Arbeit angefertigt wurde. Die meisten Versuche wurden im Hochsommer angestellt, und es wurden die Frösche durch die herrschende Hitze stark mitgenommen, die ausserdem auch das Präparat schon bei der Herstellung ungünstig beeinflusste.

Es kommt noch hinzu, dass die Muskeln auch durch die grosse Reihe maximaler Reize, denen sie ausgesetzt werden mussten, um das Schwinden der Erregbarkeit verfolgen zu können, stark geschädigt wurden; insbesondere geschah dies noch durch die äusserst kräftigen Induktionsschläge, durch deren Anwendung ich stets am Schluss der Wassereinwirkung das vollständige Erloschensein der Contractionsfähigkeit feststellte.

Auch nachdem dieses geschehen war, liess ich fast stets 1—2 Minuten vergehen, ehe ich das destillirte Wasser bezw. die hypotonische Kochsalzlösung durch die 2procentige Kochsalzlösung ersetzte.

In einem Falle mit positivem Resultat nach 35 Minuten langer Einwirkung von 0·1procentiger Kochsalzlösung liess ich bis zum Auswechseln der Lösungen sogar 11 Minuten vergehen, nachdem durch bipolare Abtastung mit Induktionsschlägen bei Rollenabstand 0 das Ausbleiben jeglicher Zuckungen festgestellt war (Versuch Nr. 11).

Um die Reizbarkeit und Contractilität möglichst sicher und in möglichster Vollkommenheit wieder herzustellen, wird es sich empfehlen, die Kochsalzlösung schon kurz vor dem völligen Erlöschen der Zuckungen an Stelle des Wassers zu setzen. Die oberflächlichsten Fasern entgehen dann leichter der Gefahr irreparabler Schädigung. Vortheilhaft auch wird es begreiflicherweise sein, statt destillirten Wassers äusserst verdünnte, stark

hypotonische Salzlösungen zu verwenden. In meinen Versuchen mit 0·1 procentiger Kochsalzlösung erlosch die Reactionsfähigkeit durchschnittlich nach 30 Minuten, in reinem Wasser nach 20 Minuten. In den Versuchen mit reinem Wasser kehrte sie nach durchschnittlich 30 Minuten zurück, in denjenigen mit 0·1 procentiger Kochsalzlösung nach durchschnittlich 24 Minuten. Trotzdem die Zahl der Versuche klein und die durchschnittlichen Abweichungen vom Mittel zum Theil recht gross sind, ist dies doch wohl kein Zufall.

Die beigefügte Tabelle lässt den genaueren Verlauf meiner Versuche ersehen.

Versuchszahl	Destillirtes Wasser	Ausbleiben der Zuckungen	2 procent. NaCl-Lösung	0·5 procent. NaCl-Lösung	Wiedereintritt der Zuckungen	Maximale Zuckungshöhe: vor Beginn der Wasserwirkung mm	Maximale Zuckungshöhe: nach Wiederherstellung der Contractilität mm	Zeit, zu welcher letztere Zuckung erhalten wurde
1	4h 10′	4h 26′	4h 28′	4h 43′	4h 53′	21	17·5	5h 15
2	10 18	10 25	10 26	10 32	10 48	19	8·5	10 58
3	3 14	3 28	3 30	3 38	3 37	22·75	19	5
4	4 49	5 24	5 25	5 35	5 34	36·5	18	5 43
5	6	6 24	6 25	6 30	6 48	24	24	7
6	3 39	3 55	3 58	4 11	4 46	20	2·5	5 51
7	6 27	6 50	6 50	6 58	7 50	27	9	7 52
8	5 54	6 21	6 21	6 31	6 42	40	3	7 18
	0·1 proc. NaCl-Lösg.							
9	5 37	6 7	6 9	6 24	6 24	23·5	8	6 50
10	7 1	7 38	7 40	—	7 56	43	3	8 6
11	10 28	10 52	11 3	11 17	11 29	40	16	11 35

Die Tabelle giebt noch zu einigen Bemerkungen Anlass. Die Zuckungen erreichen, wie Vergleichung der vorletzten mit der drittletzten Spalte ergiebt, im Allgemeinen die anfängliche Höhe nicht wieder. In Versuch 5 ist jedoch die Wiederherstellung der Contractilität eine vollkommene, in Versuch 1 und 3 wenigstens annähernd vollkommen. Man sollte erwarten, dass im Allgemeinen die Erholung um so vollkommener sein würde, je früher die Zuckungen wiederkehrten, also je kürzer die Wasserstarre dauerte. Doch ist dies in unseren Versuchen, wie Vergleichung der Zahlen in der dritten und sechsten Spalte lehrt, nicht deutlich bemerklich. Individuelle Unterschiede der Muskeln, die zum Theil durch die Präparation, wie durch die verschiedene Zahl und Stärke der angewendeten Reize erst hervorgerufen sein mögen, mischen sich offenbar sehr stark ein.

Eine weitere Reihe von Versuchen giebt Aufschluss über das Verhalten des zeitlichen Verlaufs der Contraction unter dem Einfluss von Wasser und hypotonischen Salzlösungen. Näheres hierüber ist in dem Abschnitt über das Leitungsvermögen der Muskelsubstanz zu finden (S. 20 u. flg., Fig. 6 u. 7). Hier sei nur soviel bemerkt, dass — im Gegensatz zu sehr vielen anderen Einwirkungen (Ermüdung, CO_2, starke Salzlösungen, Veratrin und andere Gifte) — die Form des Zuckungsverlaufs durch die Quellung nicht wesentlich geändert und im Besonderen das Stadium der sinkenden Energie, die Decrescente, nicht verlängert wird. Es ist wesentlich nur die Hubhöhe und damit auch die Gesammtdauer von Verkürzung und Verlängerung, die mit fortschreitender Quellung abnimmt. Das mechanische Latenzstadium für directe Reizung scheint wenigstens bei mässigen Graden der Wasserwirkung eher eine Verkürzung als eine Verlängerung zu erfahren. Es ähnelt also die Wasserwirkung in manchen Punkten der Wirkung einer Temperaturerhöhung unterhalb der Temperatur der Wärmestarre. Die Aehnlichkeit dürfte insofern nur eine äusserliche sein, als beim Wasser es sich wohl wesentlich um eine Steigerung der Beweglichkeit durch Verminderung der inneren Widerstände, bei der Wärme um Steigerung der bewegenden Kräfte handelt.

II. Die Wirkung hypertonischer Kochsalzlösungen auf Erregbarkeit und Contractilität des Sartorius.

Eine in mancher Beziehung ähnliche Einwirkung auf Reizbarkeit und Contractilität der quergestreiften Muskulatur, wie destillirtes Wasser und hypotonische Kochsalzlösung zeigen stark hypertonische Kochsalzlösungen (2—3 procentig).

Hierüber hat Herr Prof. Engelmann im Jahre 1894 eine Reihe graphischer Versuche angestellt, die an dieser Stelle zu veröffentlichen mir gestattet ist.

Ein Versuchsbeispiel, welches die Aenderungen der Contractilität in typischer Weise veranschaulicht, zeigt beistehende Fig. 3. Die Curve ist gezeichnet von einem curarisirten Sartorius, der in regelmässigen kurzen Intervallen von 2 Secunden abwechselnd durch einen Schliessungs- und Oeffnungsinductionsstrom gereizt wurde. Schliessung und Oeffnung besorgte ein Metronom mit Quecksilbercontact. Im primären Kreise befand sich ein frisches Grenet'sches Element. Der Schlittenapparat war nach Intensitäten graduirt. Die maximale Intensität wird = 1000 gesetzt.

Das Beckenende des Sartorius wurde mit einer Klemme gefasst, die an einer verstellbaren Stange befestigt war, und der ganze Muskel unter die Flüssigkeit versenkt, so dass er nach aufwärts durch einen am tibialen

Sehnenende angreifenden Faden, der mit dem Hebel in Verbindung stand, gespannt wurde mit einer Belastung von 5 grm in isotonischer Anordnung. Die Vergrösserung durch den Hebel war eine $3^1/_2$ fache. Als Reizelectroden dienten 2 Nadeln, die bis 1 mm von der Spitze mit isolirendem Lack überzogen waren und in die Flüssigkeit getaucht wurden, so dass eine Spitze am tibialen Ende rechts, die andere am Beckenende links vom Muskel lag, in möglichster Nähe desselben. Der Muskel wurde also seiner ganzen Länge nach durchströmt. Die übermaximale Reizstärke betrug $i = 300$. Die zur Anwendung kommenden Lösungen hatten eine Temperatur von 17° C.

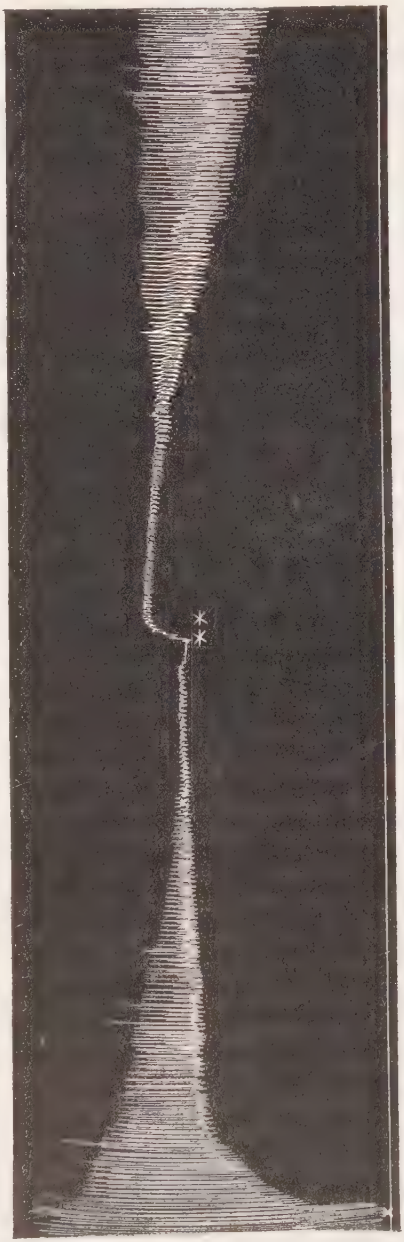


Fig. 3.

Zunächst zeigt Fig. 3, wie unter der Einwirkung einer 3 procentigen, mit Curare versetzten Kochsalzlösung die anfangs kräftigen Zuckungen innerhalb kurzer Zeit auf 0 herabsinken, um unter Einwirkung einer Mischung von $^1/_4$ arteriellem Blut $+ ^3/_4$ 0·65 procentiger Kochsalzlösung sich wieder sehr vollständig zu erholen.

Der Muskel wurde zunächst in eine Mischung von $^1/_4$ arteriellem Blut $+ ^3/_4$ 0·65 procentiger curarehaltiger Kochsalzlösung versenkt. Unter deren Einwirkung sind die ersten Zuckungen gezeichnet. Um 10^h 9′ (bei *) wird obige Lösung durch eine 3 procentige Kochsalzlösung ersetzt. Die Zuckungshöhe nimmt sofort ab, und zwar gleichzeitig durch Hebung der Fusspunkte, wie durch Sinken der Gipfelhöhe: der Muskel verkürzt sich also in zunehmend geringerem Maasse und erschlafft nach jeder neuen Zuckung weniger. Auch zeigt sich deutlich

ein Wachsen der Erschlaffungsdauer. Schliesslich um 10^h 9′ sind die Erhebungen der Schreibspitze bis fast zur Unmerklichkeit, jedenfalls auf weniger als 0·2 Procent der anfänglichen Höhe reducirt. Jetzt wird (bei * *) die Kochsalzlösung abgesogen und die ursprüngliche Blutkochsalzlösung eingefüllt. Alsbald nimmt die Grösse der Zuckungen wieder zu und zwar hauptsächlich durch wachsende Verlängerung des Muskels bei der Erschlaffung. (Die anfängliche kleine Erhebung der Fusspunkte war eine rein mechanische Wirkung der Schwere des Muskels in Folge Aussaugens der Flüssigkeit.) Die Zunahme der Zuckungshöhen erfolgt ungefähr mit gleicher Geschwindigkeit wie vorher die Abnahme, erreicht aber auf der abgebildeten Strecke noch nicht die ursprünglichen Werthe.

Die 3 procentige Kochsalzlösung ruft ebenso wie das destillirte Wasser eine dauernde, starke „tonische“ Verkürzung des Muskels hervor. Dieser ist jedoch in seinem Aussehen nicht so stark verändert wie der wasserstarre Muskel. Er ist von etwa normalem Volumen, nicht gequollen und weisslich trübe, sondern sogar durchsichtiger wie der normale Muskel und wie in einzelne Faserbündel zerfallen. Der Muskel ist schlaff und zeigt grosse Neigung sich zu runzeln, sich zu krümmen und zusammen zu ziehen.

Wesentlich gleich war der Verlauf der Zuckungsänderung in anderen in derselben Weise angestellten Versuchen. Die Zuckungen kehrten auch dann zurück, wenn sie vollständig unmerklich geworden und auch mehrere Minuten lang unmerklich geblieben waren. Freilich wurde dann die ursprüngliche Zuckungshöhe nicht wieder erreicht, sondern meist nur zu etwa $^1/_2$ oder $^1/_3$, auch noch weniger.

Eine Reihe anderer Versuche wurde bei grösserer Geschwindigkeit des Kymographioncylinders gezeichnet, um die Aenderungen im zeitlichen Verlauf der Contraction besser hervortreten zu lassen.

Der ganze Muskel wurde in 3 procentige Kochsalzlösung versenkt und wirkte in isotonischer Anordnung auf einen 4 Mal vergrössernden Schreibhebel bei einer Belastung von 5^{grm}. Die Versuchsanordnung war übrigens dieselbe wie vorstehend beschrieben, nur befanden sich hier beide Reizelectroden nahe dem Beckenende des Muskels, zu beiden Seiten desselben. Zur Reizung wurden einzelne Inductionsschläge benutzt mit 2 Groves im primären Stromkreis. Die Stimmgabel gab Schwingungen von $^1/_{10}''$.

Beigefügte Abbildungen (Fig. 4 a bis g) zeigen zunächst (Fig. 4 a) eine vom unveränderten Muskel aufgenommene Zuckung. Dieselbe steigt in etwa 0·1″ zu ihrer höchsten Höhe an, um fast ebenso schnell wieder abzufallen. Um 9^h 53′ beginnt die Einwirkung der 3 procentigen Kochsalzlösung. Sehr bald zeigen die Zuckungen eine characteristische Veränderung. Während die Zuckungshöhe stark sinkt, nimmt die Dauer des Anstieges merklich zu. Sie betrug 0·15″ um 9^h 56′ (Fig. 4 b). Viel auffälliger

aber ist die wachsende Verlängerung des abfallenden Schenkels und die wesentlich hierdurch bedingte Abstumpfung des Gipfels. Im weiteren Verlauf (10^h 7′, Fig. 4c und 10^h 11′, Fig. 4d) treten diese Erscheinungen mit Abnahme der Zuckungshöhe noch mehr hervor. Letztere fällt auch hier, wie unter Einwirkung des destillirten Wassers, zu Anfang schnell ab, später immer langsamer. Um 10^h 12′ wird die 3 procentige Kochsalzlösung durch destillirtes Wasser ersetzt. Die Zuckungen nehmen wieder an Grösse zu, allmählich wird die Dauer des Anstieges eine kürzere (10^h 27′ nur noch 0·095″), der stumpfe Gipfel kehrt zu einer spitzeren Form zurück (s. die charakteristische Curve Fig. 4e von 10^h 16′), der absteigende Schenkel verliert den langgestreckten Verlauf. Fig. 4f (10^h 23′) zeigt weiteren Fortschritt gegen die Norm. Endlich erhalten wir Curven wie zu Anfang vom unveränderten Muskel (10^h 55′ Fig. 4g).

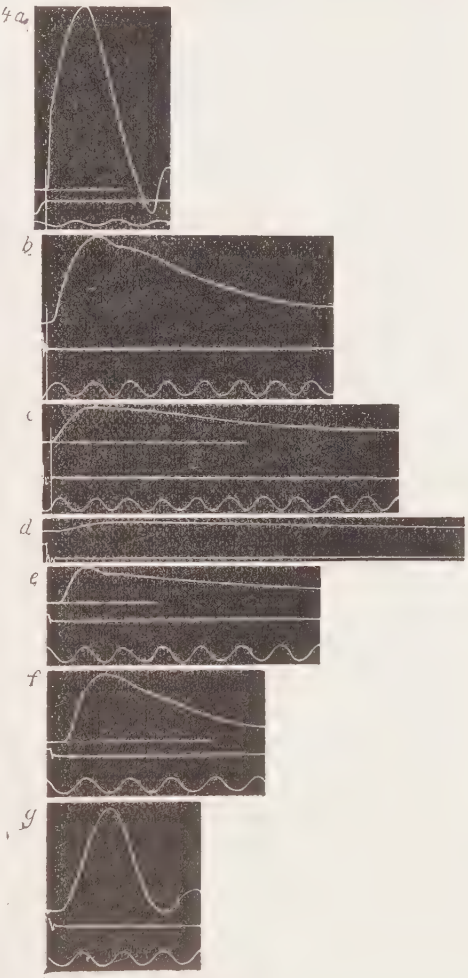


Fig. 4.

Der Einfluss der hypertonischen Salzlösung auf die Form und den zeitlichen Verlauf der Zuckungscurve ist hiernach äusserlich sehr ähnlich dem der Ermüdung und der CO_2[1], insofern auch hier die Verlangsamung der Erschlaffung, die abnehmende Steilheit der Decrescente das auffälligste Phänomen ist. Vermuthlich handelt es sich in allen diesen Fällen um Vermehrung der inneren Widerstände. Inzwischen bestehen, wie bei der

[1] A. D. Waller and S. C. M. Sawton, Action of carbonic dioxide on voluntary and on cardiac muscle. *Journ. of physiol.* 1896. Vol. XX. — Camill Lhoták von Lhota, Untersuchungen über die Veränderung der Muskelfunction in einer Kohlensäureatmosphäre. *Archiv f. Anat. u. Physiol.* 1902. Physiol. Abthlg. Suppl. S. 45.

wesentlich verschiedenen Art der wirkenden Ursachen ja auch nicht anders zu erwarten ist, in anderen Punkten (Verhalten der Zuckungshöhe z. B.) so erhebliche Unterschiede, dass eine weitere Wesensverwandtschaft der inneren Vorgänge nicht vermuthet werden kann.

III. Ueber den Einfluss von destillirtem Wasser und hypotonischen Kochsalzlösungen auf das Reizleitungsvermögen des Sartorius.

Eine weitere Reihe meiner Versuche verfolgte das Ziel, festzustellen, ob in einem partiell wasserstarren Muskel in dem wasserstarren Theil Reizbarkeit und Leitungsfähigkeit für hier applicirte Reize fortbesteht trotz aufgehobenen Contractionsvermögens.

Kaiser giebt an, dass bei seinen diesbezüglichen Versuchen Zuckungen in dem intacten Theil nur bei sehr starken Inductionsschlägen, die dem wasserstarren Theil applicirt wurden, aufgetreten seien. Jedoch hätten dieselben auch nach Durchschneidung des wasserstarren Theils und leitender Verbindung der Schnittflächen fortbestanden. Diese Zuckungen hätten also nicht auf physiologischer Leitung in dem wasserstarren Theil des Muskels beruht, sondern auf Stromschleifen.

Ich stellte meine Versuche in folgender Weise an:

Auf einer am Boden eines Glasgefässes von 10 cm Länge, 6 cm Breite und 4 cm Tiefe festgekitteten Korkplatte befestigte ich den wie oben präparirten stark curarisirten Muskel mit einer schmalen Korkbrücke in der Weise, dass zwei Drittel des Muskels, und zwar das tibiale Ende desselben, in fast wagerechter Richtung vermittelst eines Fadens, der über eine, gleichfalls auf der Korkplatte unbeweglich befestigte Rolle geführt wurde, auf einen leicht spannenden Schreibhebel wirkten; während das andere Drittel, das Beckenende, aufwärts in senkrechter Richtung mit einem Schreibhebel in Verbindung stand, so dass ich die Zuckungen beider Theile aufschreiben konnte. Der wagerechte Theil des Muskels wurde der Einwirkung des destillirten Wassers u. s. w. ausgesetzt. An ihm waren auch in möglichster Nähe des tibialen Sehnenendes Reizelectroden angebracht. Die äusserst dünnen Reizdrähte federten nicht merklich, sondern folgten ungehindert den Bewegungen des Muskels. Ausserdem war es mir noch stets möglich, vermittelst eines Paares Hand-Electroden von 1 mm Spannweite den Muskel an beliebigen anderen Stellen zu reizen.

Nachdem ich mich von dem guten Ausschlag der beiden Schreibhebel bei Reizung überzeugt hatte, füllte ich das Gefäss vorsichtig mit destillirtem Wasser bezw. hypotonischer Kochsalzlösung, so dass nur der wagerechte Theil des Muskels gerade in die Flüssigkeit versenkt war, und reizte dann

den Muskel in geringen Zwischenräumen mit Oeffnungs-Inductionsschlägen von zunehmender Stärke. Hierbei zeigte sich, dass bei derselben Reizstärke, bei welcher zuvor in beiden Theilen des Muskels maximale Zuckungen erfolgt waren, mit der Zuckungshöhe des der Wasserstarre entgegengehenden Theiles auch diejenige des intacten Theiles häufig allmählich bis auf 0 sank, während bei Verminderung des Rollenabstandes in beiden Theilen noch Zuckungen kamen. Wenn dann auch diese wieder ausblieben, wurde der Rollenabstand wieder um etwa 1 bis 2 cm verringert und so fort. Schliesslich wurde dann eine Reizstärke erreicht, bei der nach vollständigem Aufhören der Zuckungen im wasserstarren Theil diejenigen des intacten Theiles noch fortbestanden. Ob diese letzteren auf Stromschleifen beruhten, konnte nun zunächst allerdings zweifelhaft sein, obschon ich mich dadurch noch möglichst zu schützen suchte, dass ich sehr grosse Sartorien verwendete und die Entfernung der Reizelectroden vom nicht eingetauchten Theil des Muskels so gross wie möglich (bis 3 cm) machte. Bei dem geringen Abstand der Reizelectroden von einander (1 mm), ihrer innigen Berührung mit dem Muskel, bei dem grossen Querschnitt ferner der extrapolaren Strombahn, der die Stromdichte, und dem grossen specifischen Widerstand der den Boden des Gefässes füllenden Lösung, der die Stromstärke schon in geringer Entfernung von der intrapolaren Strecke sehr herabdrücken musste, durfte ohnehin die Gefahr einer Täuschung durch Stromschleifen gering scheinen, um so geringer als der Muskel stark curarisirt war und somit nur seine eigene, im Vergleich zu der der Nerven geringere Reizbarkeit in Betracht kam. Doch bedurfte es strenger Beweise.

Ich versuchte zunächst die alte in solchen Fällen übliche und auch von Kaiser zur Controlle verwandte Methode der physiologischen Leitungsunterbrechung, indem ich den Muskel im wasserstarren Theil durchschnitt. Es wurde zu dem Zweck zuvörderst der Zustand der Wasserstarre herbeigeführt, dann der Schwellenwerth des Reizes aufgesucht, der vom wasserstarren tibialen Ende aus eine Zuckung im contractilen Beckenende des Sartorius hervorrief. Dann wurde zu etwas stärkeren Reizen, die unfehlbar deutliche Zuckungen veranlassten, übergegangen und hierauf der Muskel im wasserstarren Theil quer durchschnitten. Die Schnittflächen blieben der Starre wegen in inniger Berührung.

Es zeigte sich nun in einer grossen Reihe von Fällen, dass bei derselben Stärke der Inductionsschläge, bei welcher sich vor der Durchschneidung deutliche Zuckungen im intacten Abschnitt gezeigt hatten, diese nach der Durchschneidung ausblieben. Sie traten erst bei beträchtlicher Verminderung des Rollenabstandes (etwa 2 bis 3 cm bei schon übereinander gehenden Rollen) oder nach bedeutender Annäherung der Electroden an den contractilen Theil des Muskels wieder auf.

Um jeden etwaigen Zweifel zu beseitigen, bot sich die vergleichende Messung der Latenzzeiten bei Reizung im wasserstarren und im contractilen Theil des Muskels als sicheres Mittel dar. In den Fällen, wo wirklich Erregung im wasserstarren Theil stattgefunden und sich durch diesen zum schreibenden Beckenende des Muskels fortgepflanzt hatte, war eine erheblich grössere Latenzzeit zu erwarten, als bei directer Reizung des contractilen Stückes durch Stromschleifen. Hierbei war dem Umstand Rechnung zu tragen, dass die Dauer des Latenzstadiums bei directer Reizung sich mit der Stärke der Reize, bezüglich der Hubhöhen innerhalb gewisser Grenzen in umgekehrtem Verhältniss ändert.[1] Streng beweisend gegen Reizung durch Stromschleifen mussten also die Fälle sein, in welchen unter übrigens gleichen Bedingungen indirecte Reizung, vom wasserstarren Ende aus, bei stärkerer Verkürzung eine merklich längere Latenz ergaben als directe Reizung des Beckenendes, welche schwächere oder höchstens gleich grosse Zuckungen auslöste.

Aenderungen der Leitungsgeschwindigkeit der Erregung im Muskel durch Einwirkung von destillirtem Wasser und äusserst verdünnter Kochsalzlösungen.

Zur Entscheidung dieser Fragen lagen mir theils eigene, theils ältere von Professor Engelmann 1894 angestellte myographische Versuchsreihen vor. Beide führen zu identischen Ergebnissen.

In den Versuchen von Professor Engelmann wurde der schonend freipräparirte Sartorius eines stark curarisirten grossen Frosches in der Weise, wie das aus nebenstehender schematischer Figur ersichtlich ist, auf einem etwa ⌐ förmigen Korkrähmchen befestigt, dessen dicker horizontaler Arm durch eine — in Figur 5 nicht gezeichnete — Schraubenklemme festgehalten wurde. Die Klemme befand sich am Ende eines höher und niedriger zu schraubenden Stabs, mittels dessen der Korkrahmen in ein unterstehendes kleines Becherglas von oben her eingesenkt werden konnte. Das Beckenende des Muskels wurde mit 2 kleinen Stecknadeln, die bis fast an die Spitze mit Siegellack überzogen und an welche die dünnen kupfernen Reizdrähte angelöthet waren, aussen auf dem einen vertikalen Arm des Korkrahmens festgesteckt (s. Fig. 5), der Muskel über den Ausschnitt des Rahmens herübergebrückt, das Knieende um den anderen vertikalen Arm nach oben umgeschlagen, so dass es in einer Länge von etwa 12 bis 20^{mm}

[1] Vgl. Rob. Tigerstedt, Ueber die Latenzdauer der Muskelzuckung. *Archiv f. Anat. u. Physiol.* 1885. Physiol. Abthlg. Suppl. S. 111. Die vollständige Litteratur siehe bei A. Durig, Wassergehalt und Organfunction. 2. Abthlg. Pflüger's *Archiv.* 1901. Bd. LXXXVII. S. 57.

zum Aufschreiben der Zuckungen benutzt werden konnte. Zur besseren Fixirung war es nahe der Umschlagstelle mit einem dicken Zwirnfaden auf den Korkarm aufgebunden, doch nur so fest, dass es die Zugwirkung des horizontalen mittleren Stückes des Muskels auf den Schreibhebel verhinderte, die Leitung aber nicht schädigte, ein Verfahren, dessen sich bekanntlich schon A. von Bezold[1] mit Erfolg für ähnliche Zwecke bediente. — Das freie Muskelende zog mittels eines seidenen Fadens in isotonischer Anordnung an einem leichten, 12 mal vergrössernden Hebel von Aluminium. Das dicht bei der Axe umgehängte Gewicht von 50^{grm} ertheilte dem Muskel eine Spannung von etwa 5^{grm}. Zuckungen, Reizmomente (Oeffnungen des primären Stromes eines gewöhnlichen Schlittenapparates) und Zeit (Stimmgabel von 50 Schwingungen in 1″) wurden auf dem Pantokymographion verzeichnet unter Beobachtung der für derartige Leitungsmessungen erforderlichen Sicherheitsmaassregeln[2]. Da es für den vorliegenden Zweck nicht sowohl auf absolute Zeitwerthe als auf Differenzen solcher ankam, sind die, übrigens höchst geringfügigen, Correcturen für Retard der Schreibvorrichtungen nicht angebracht. Die Geschwindigkeit der Schreibfläche betrug im entscheidenden Moment meist etwa 300 bis 400^{mm}, was bei der Feinheit der von den Schreibspitzen gezeichneten Curven eine durchschnittliche Genauigkeit der Messung bis auf Werthe von etwa 0·0003″ zulässt.

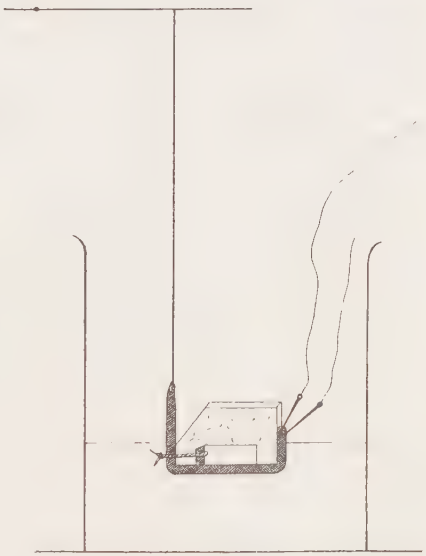


Fig. 5.

Es wurden zuerst die Latenzzeiten für directe und indirecte Reizung bestimmt, während der Muskel in Kochsalzlösung von 0·67 Procent tauchte. Das Knieende blieb immer in wenigstens 15^{mm}, das Beckenende mit der Reizstelle in wenigstens 3^{mm} Länge über dem Flüssigkeitsspiegel. Dabei ergaben sich dieselben Werthe, wie sie auch beim in Luft hängenden Sartorius gefunden werden: durchschnittlich bei directer Reizung des

[1] A. v. Bezold, *Untersuchungen über die elektrische Erregung von Nerven und Muskeln.* Leipzig 1861.

[2] Pflüger's *Archiv.* 1895. Bd. LX. S. 28. — *Archiv f. Anat. u. Physiol.* 1900. Physiol. Abthlg. Suppl. S. 330.

schreibenden Muskelendes für maximale Zuckungen (Gipfelhöhe der Curven meist 30 bis 40^{mm}) 0·01″, für die schwächsten Zuckungen, welche noch eine hinreichend scharfe Bestimmung zuliessen (Gipfelhöhe etwa 2^{mm}) höchstens 0·016″. Bei indirecter Reizung, am Beckenende, in etwa 1·5 bis 2·5^{cm} Entfernung vom schreibenden Stück wurden Werthe erhalten von durchschnittlich 0.02 bis 0·024″, entsprechend einer Leitungsgeschwindigkeit von etwa 1·5 bis 2·5^{m}. Die Einzelwerthe wichen bei gleichem Ort und gleicher Stärke des Reizes nur sehr wenig von einander ab (im Mittel von mehreren Dutzenden von Versuchen um weniger als 0·001″). Sie änderten sich auch nur langsam. Insbesondere blieb die Latenz für directe Reizung in physiologischer Kochsalzlösung unter Umständen stundenlang merklich dieselbe. Auch die Latenzen für indirecte Reizung, also die Leitungszeit, blieb in dieser Lösung sehr lange Zeit merklich gleich.

Nachdem die Reizungen während 5 bis 10 Minuten und länger in Kochsalzlösung von 0·67 Procent fortgesetzt waren, wurde die Flüssigkeit abgehebert und destillirtes Wasser, bezüglich 0·1 procent. Kochsalzlösung von Zimmertemperatur (15·0 bis 16·5° C.) bis zur gleichen Höhe eingefüllt. Unter diesen Umständen fängt das untergetauchte Stück alsbald an zu quellen, während gleichzeitig Contractilität und directe Reizbarkeit rasch sinken. Da die Wasserwirkung sich auch auf die untere eingetauchte Partie des schreibenden Muskelendes erstreckt, hebt sich in Folge der durch die Quellung bedingten Verkürzung der Fasern allmählich die vom ruhenden Muskel gezeichnete Abscisse und nehmen die Hubhöhen auch für directe Reizung bald beträchtlich ab. In einigen Versuchen zeigte sich anfangs eine geringe Steigerung der Hubhöhen. Schon nach 2 Minuten aber schlug sie in ihr Gegenteil um. Die Leitungsgeschwindigkeit im untergetauchten Stück bleibt aber zunächst und auf längere Zeit merklich unverändert, denn die Latenzwerthe für indirecte Reizung bleiben dieselben wie zuvor. Schliesslich — bei reinem Wasser manchmal schon nach wenigen Minuten, bei NaCl-Lösung von 0·1 Procent mitunter erst nach $^1/_4$ Stunde und später — fangen aber die Latenzzeiten für indirecte Reizung an zu wachsen und erreichen, trotzdem die Reizstärke und damit die Gefahr einer Verkürzung der leitenden Strecke in Folge extrapolarer Reizung sehr gesteigert werden muss, allmählich Werthe, die 0·07″ und mehr betragen können, was einer Abnahme der Leitungsgeschwindigkeit auf ein Viertel und weniger entspricht. Dauerte die Wasserwirkung noch länger an, so wurde die Leitung schliesslich ganz unterbrochen. Auch bei Reizung mit ganz aufgeschobenen Rollen blieb das tibiale Muskelende in Ruhe, während es auf sehr viel schwächere directe Reize noch mit der anfänglichen Latenz von etwa 0·01″ reagirte. — Nach Abhebern des Wassers und Einfüllen von physiologischer Kochsalzlösung pflegte die Leitungsfähigkeit innerhalb 5 bis 15 Minuten

zurückzukehren. Die anfangs noch hohen Latenzwerte nahmen allmählich wieder bis zum anfänglichen Betrag ab, auch wenn die Hubhöhen dauernd bedeutend geschwächt blieben.

Ganz dieselben Resultate ergaben sich auch in meinen eigenen Versuchen. Der Muskel wurde in der früher beschriebenen Weise fixirt und mit Schreibhebeln verbunden. Die Electroden lagen dauernd in möglichster Nähe des tibialen Sehnenendes. Die Handelectroden benutzte ich zur directen Reizung des Beckenendes.

Zuerst überzeugte ich mich durch Anwendung starker Reize, ob der tibiale Theil des Muskels sich nach längerer Einwirkung von Wasser im Zustande vollständiger Wasserstarre befand. War dies der Fall, so ging ich mit der Stärke der Inductionsschläge so weit zurück, dass ich bei Reizung des tibialen Endes gerade noch eine deutliche Zuckung im intakten Beckentheil erhielt. Diese Zuckung schrieb ich dann vermittelst Engelmann's Schleudermyographion auf und ebenso eine durch directe Reizung des intakten Theils ausgelöste Zuckung auf derselben Abscisse.

Hierbei ergab sich stets eine bedeutende Differenz der Latenzzeiten zu Gunsten der entfernteren Reizstelle und zwar von solcher Grösse, dass sie nur durch Leitung verursacht sein konnte. Bei Aufzeichnung mehrerer derartiger Curven von demselben Muskel musste die Stärke der Inductionsschläge allmählich gesteigert werden, da bei fortschreitender Wasserstarre Reizbarkeit und Leitungsfähigkeit des wasserstarren Theils sank und so das Stadium, in welchem der Muskel noch leitungsfähig, aber nicht mehr contractionsfähig war, bald vorüber ging. Schliesslich erreichte ich eine Stromstärke, bei welcher Stromschleifen direct den contractilen Theil erregten, so dass dann eine Differenz der Latenzzeiten nicht mehr vorhanden war. Während des Stadiums der vollständigen, noch nicht irreparablen Wasserstarre wurden aber so grosse Latenzzeiten gefunden, dass an directe Reizung des nicht starren Abschnittes durch Stromschleifen nicht zu denken war.

Die Differenzen der Latenzzeiten übertrafen meistens diejenigen, welche sich bei Controllversuchen an normalen curarisirten Muskeln bei derselben Versuchsanordnung ergaben. Die aus den letzteren für die Leitungsgeschwindigkeit berechneten Werthe stimmen gut mit den durch frühere Autoren bei frischen ausgeschnittenen Sartorien gefundenen Werthen.

In meinen Versuchen ergab sich bei directer Reizung des contractilen Abschnittes stets eine Latenzdauer von annähernd 0·017″.

Bei indirecter Reizung erhielt ich am normalen curarisirten Muskel (Controllversuche) um 0·005 bis 0·007″ längere Latenzzeiten, bei vollständiger Wasserstarre des tibialen Muskelendes Differenzen bis zu 0·031″.

Zur Veranschaulichung mögen beistehende Figuren nebst Beschreibungen dienen.

Fig. 6 *a* bis *g* entstammen einem Versuch vom 10. Februar 1894. Der stark curarisirte Sartorius wurde $10^h 18'$ unter NaCl 0·67 procent. gebracht. Der Abstand der Reizstelle am Beckenende vom schreibenden Muskelstück betrug 18 mm. Temperatur 16° C. Stimmgabel von 50 Schwingungen. In der Erklärung der Figuren bedeutet i die Stärke des reizenden Stroms in Tausendsteln der maximalen (bei 0 Rollenabstand), h die Hubhöhe, l die Latenz in Tausendstel Secunden ($1 = \sigma$) bei directer, h' und l' die entsprechenden Werthe bei indirecter Reizung des schreibenden Stücks. In jeder Minute wurden drei Versuche angestellt.

Es wurden zunächst einige Bestimmungen bei directer schwacher Reizung ausgeführt.

Fig. 6a.

Fig. 6a: $10^h 20'$. Directe Reizung. $i = 10$, $h = 9^{mm}$, $l = 11\,\sigma$.

Bis $10^h 26'$ werden 12 indirecte Reizungen bei $i = 25$ vorgenommen. h' variirt zwischen 36 und 38·5 mm, l' zwischen 21 und 22.

$10^h 27'$: $i = 15$, $h' = 36·7 - 30·5$, $l' = 23$.

$10^h 28'$ wird die physiologische Salzlösung abgehebert und Kochsalzlösung von 0·1 Procent zur gleichen Höhe eingefüllt.

$10^h 28' - 30'$: $i = 15$, $h' = 42·5 - 33·0$, $l' = 20 - 23$.

$10^h 31' - 35'$: $i = 15$, $h' = 31·5 - 9·5$, $l' = 21 - 30$.

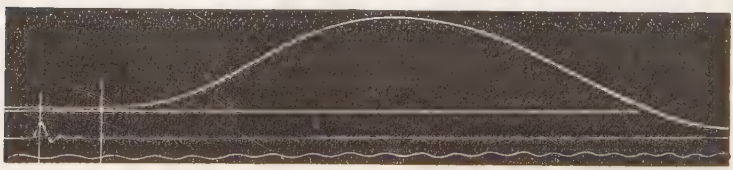


Fig. 6b.

$10^h 40'$ Fig. 6b: $i = 14$, $h' = 12$, $l' = 27$.

Trotz 12′ langen Aufenthalts in der 0·1 procentigen Salzlösung und trotz grösserer Reizstärke und Hubhöhe ist l' um 16 grösser als l im Versuch Fig. 6a. Diese Differenz würde einer Leitungsgeschwindigkeit $A = 1·1^m$ entsprechen.

$10^h41 - 50'$: $i = 14$, $h' = 17 \cdot 5 - 5 \cdot 5$, $l' = 30 - 35$.
$10^h50 - 55'$: $i = 14$, $h' = 12 \cdot 5 - 9 \cdot 0$, $l' = 34 - 40$.

Fig. 6c.

$10^h55'$ Fig. 6c: $i = 14$, $h' = 9 \cdot 0$, $l' = 57$.

Trotz nur wenig geringerer Hubhöhe ist die Latenz auf mehr als den doppelten Werth von der in Fig. 6b gestiegen, die Leitungsgeschwindigkeit also, da l voraussichtlich nahezu unverändert geblieben sein wird, etwa auf $45 : 18 = 0 \cdot 4^m$ gesunken.

Von $10^h55' - 11^h0'$ sinken die h' auf 3^{mm}, die l' steigen auf etwa 75.

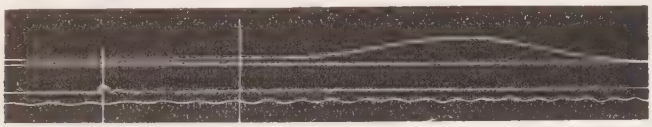


Fig. 6d.

$11^h0'$ Fig. 6d: $i = 14$, $h' = 3$, $l' = 75$. (Entspricht etwa $A = 62 : 18 = 0 \cdot 3^m$.

$11^h1'$ giebt indirecte Reizung auch bei $i = 32$ keine Zuckung. Die 0·1 procentige Lösung wird durch NaCl 0·7 procent. ersetzt. Bis $11^h10'$ wird wiederholt direct gereizt, da indirecte Reizung auch mit noch stärkerem Strom erfolglos bleibt. $i = 75 - 100$, $h = 7 \cdot 5 - 13 \cdot 0$, $l = 13 - 16$.

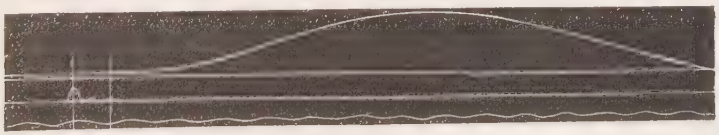


Fig. 6e.

$11^h8'$ Fig. 6e: directe Reizung $i = 100$, $h = 7 \cdot 5$, $l = 13$.

$11^h11'$ ist indirecte Reizung bei $i = 50$ wieder wirksam. Die Hubhöhen wachsen bis $11^h20'$ von 3 bis 8^{mm}, l' sinkt von 34 (erste Messung) bis 22 herab.

Fig. 6f.

$11^h18'$ Fig. 6f: Indirecte Reizung: $i = 100$, $h' = 3 \cdot 3$, $l' = 30$.

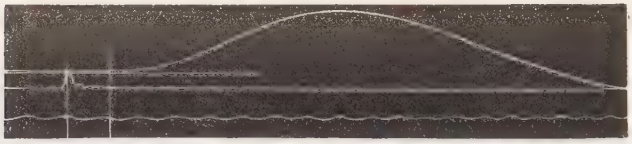


Fig. 6 g.

$11^h19'$ Fig. 6 g: Indirecte Reizung $i = 50$, $h' = 8 \cdot 1$, $l' = 23$.

Die Leitungsgeschwindigkeit hat hiernach den anfänglichen Werth wieder erreicht.

Die vorstehend abgebildeten Versuche wurden bei mässiger Geschwindigkeit (250 bis 350 mm) des durch das Uhrwerk des Pantokymographions bewegten Cylinders verzeichnet.

In Fig. 7 sei noch der Anfang eines mit dem Schleudermyographion bei grösserer Geschwindigkeit (2100 mm) geschriebenen Curvenpaares abgebildet.

Die Zuckungscurven sind nach abwärts gezogen, da der Angriffspunkt des Muskels auf derselben Seite von der Hebelaxe lag wie die schreibende Spitze. Die erste Curve (I) ist bei directer, die zweite (II) bei indirecter Reizung auf der gleichen Abscisse gezeichnet. Die Hubhöhen waren nahezu die gleichen. Die Latenz für I beträgt etwa 16, die für II etwa 47 σ. Dies entspricht, da der Abstand der Reizstelle von der schreibenden Muskelstrecke 30 mm betrug, einer Leitungsgeschwindigkeit von $0 \cdot 98$ m. Die leitende Muskelstrecke hatte etwa 30 Minuten in $0 \cdot 1$ procent. NaCl-Lösung gelegen und war völlig ihrer Contractilität beraubt.

IV. Einfluss von 3 procentiger Kochsalzlösung auf die Reiz-Leitungsfähigkeit des Muskels.

Mit Benutzung derselben, oben ausführlich beschriebenen und in Fig. 5 auf S. 23 schematisch abgebildeten Versuchsanordnung konnte nachgewiesen werden, dass auch eine 3 procentige Kochsalzlösung die Contractilität einer Muskelstrecke bei gleichzeitiger Erhaltung der Leitungsfähigkeit aufheben kann. Ein einziges Versuchsbeispiel genüge zur Erläuterung.

Versuch vom 1. März 1894: Der Muskel wird mit Ausnahme des tibialen Endes um $2^h26'$ in 3 procentige Kochsalzlösung untergetaucht und die in regelmässigen Zwischenräumen vermittelst des Metronoms durch Reizung des Beckenendes ausgelösten Zuckungen des intakten Muskelabschnittes werden aufgeschrieben. Es wurde zunächst mit Oeffnungsinductionsschlägen von der Stärke $i = 32$ gereizt.

Es sinken allmählich die Zuckungshöhen und die Reizstärke muss bis 75 gesteigert werden. In der leitenden Muskelstrecke selbst ist von $2^h45'$

an auch bei stärkster Reizung keine Spur von einer Zuckung mehr wahrzunehmen. Da schliesslich selbst Stromstärken von 600 bei Reizung des Beckenendes keine Zuckung des tibialen Endes mehr auslösen, dieses aber bei directer Reizung mit schwachen Strömen (32) nach wie vor kräftig zuckt, können Stromschleifen nicht Ursache des positiven Erfolges der Reizung mit schwächeren Strömen oberhalb der salzstarren Strecke gewesen sein.

Fig. 7.

Um $3^h 1'$ wird an Stelle der 3procentigen Kochsalzlösung destillirtes Wasser gesetzt. Es erholt sich hierauf die Leitungsfähigkeit zunächst nicht, und die Zuckungshöhen sinken weiter. Die Stärke der Inductionsschläge wird bis zu $i = 750$ gesteigert. Selbst hiermit gelingt es um $3^h 16'$ nicht mehr, Zuckungen des contractilen Abschnittes durch Reizung des Beckenendes auszulösen. Der untergetauchte Muskelabschnitt ist also vollkommen starr und leitungsunfähig. Bei directer Reizung des contractilen Muskelabschnittes treten auch jetzt noch bei schwachen Inductionsschlägen die kräftigsten Zuckungen ein. Um $3^h 15'$ wird an Stelle des destillirten Wassers eine 1procentige Kochsalzlösung gebracht, worauf sich die Leitungsfähigkeit des wasserstarren Abschnittes wieder herstellt. Die zur Auslösung von Zuckungen erforderliche Stromstärke sinkt auf 600 und weiter herab.

Obschon in diesen Versuchen die untergetauchte leitende Muskelstrecke etwaige eigene Zuckungen nicht aufschreiben konnte, belehrte doch die Inspection mit genügender Sicherheit darüber, ob ihre Contractilität aufgehoben war oder nicht. Zwar stellt Kaiser die Forderung, dass man sich durch eine der graphischen Methoden von der Contractionslosigkeit des wasserstarren Muskels überzeugen müsse. Ich habe dies bei meinen Versuchen auch stets gethan. Hierbei hatte ich jedoch reichlich Gelegenheit, mich zu überzeugen, wie es mit der Berechtigung der Forderung Kaiser's stehe. Sicherlich hat die graphische Aufzeichnung den Vorzug des objectiven Beweises, aber an Sicherheit steht das blosse Sehen der minimalsten Zuckungen dem graphischen Verzeichnen derselben durchaus nicht nach! Manchmal handelt es sich nur um die Spur einer Zuckung in einer kurzen Strecke eines Faserbündels, die recht gut mit dem Auge wahrzunehmen ist, sich aber nicht merklich auf den Hebel überträgt.

Unzweifelhaft kann — das lehren diese Versuche — die quergestreifte Muskelsubstanz durch 3procentige Kochsalzlösung des Leitungs-

vermögens, wie der Contractilität und directen Reizbarkeit ganz beraubt, und kann diese Salzstarre durch Wasserzufuhr wieder beseitigt werden. Es folgt aber weiter daraus, wie aus den früheren Versuchen, dass auch eine nicht mehr contractile Muskelstrecke doch noch den physiologischen Erregungsvorgang fortzupflanzen vermag, das Leitungsvermögen der Muskelsubstanz also jedenfalls als eine von der Contractilität innerhalb gewisser Grenzen unabhängige Function der Muskelsubstanz zu betrachten ist.

Für die Unabhängigkeit des Leitungsvermögens von der Reizbarkeit (Anspruchsfähigkeit) des quergestreiften Muskels haben die sehr sorgfältigen Versuche von G. Piotrowski[1] über die Einwirkung von CO_2 und von Alkohol auf den curarisirten Froschsartorius den gleichen Nachweis geliefert. P. bediente sich statt der Zuckung der negativen Schwankung des Demarkationsstromes als Reagens. Der mittlere Theil des auf dem Muskelspanner von du Bois Reymond befestigten Sartorius befand sich in einer kleinen feuchten Kammer, durch welche die Gase hindurch geführt werden konnten. Ein Paar Reizelectroden (I) lag innerhalb der Kammer ganz nahe an der der abgeleiteten tibialen Strecke des Muskels zugekehrten Wand, ein zweites Paar (II) ausserhalb nahe dem Beckenende. Hier zeigte sich nun aber, umgekehrt wie in unseren Versuchen, dass das Leitungsvermögen viel stärker geschädigt wurde als die directe Reizbarkeit. Es gelang sogar, die Leitungsfähigkeit ganz aufzuheben unter Erhaltung der lokalen Reizbarkeit. Nach Verdrängen des alkoholhaltigen Luftgemenges oder der CO_2 mittelst feuchter Luft kehrte das Leitungsvermögen zurück. Wie beim Wasser nach unseren Erfahrungen und im Gegensatz zum Verhalten der Nerven unter gleichen Umständen (s. unten) erfolgte die Abnahme und das Schwinden des Leitungsvermögens wie auch ihre Wiederherstellung sehr rasch, im Laufe weniger Minuten. —

Theoretisch bedeutungsvoll scheint uns besonders die nunmehr festgestellte Thatsache, dass Contractilität und Reizbarkeit in ihrer Beziehung zum Leitungsvermögen sich ganz entgegengesetzt verhalten können, indem ein Agens (CO_2, Alkohol) die Leitungsfähigkeit aufhebt und die Reizbarkeit erhält, das andere (Wasser) die Leitungsfähigkeit und Reizbarkeit weniger, die Contractilität mehr schädigt. Die principielle Selbstständigkeit und weitgehende Unabhängigkeit der drei Grundfunctionen der Muskelsubstanz, der inotropen (Contractilität), der bathmotropen (Anspruchsfähigkeit) und der dromotropen (Leitungsfähigkeit) erscheint damit a fortiori erwiesen.

[1] G. Piotrowsky, Ueber die Trennung der Reizbarkeit und Leitungsfähigkeit der Nerven. *Archiv f. Anat. u. Physiol.* 1893. Physiol. Abthlg. S. 205.

2. Versuche an Nerven.

I. Einfluss von Wasser.

Da schon die älteren im Eingang erwähnten Versuche von Kölliker den strengen Nachweis geliefert haben, dass auch der Nerv durch reines Wasser seiner Erregbarkeit, soweit über diese aus dem Verhalten des zugehörigen Muskels geurtheilt werden kann, völlig beraubt, nachher aber durch Wasserentziehung wieder belebt werden kann, beschränkte ich mich auf wenige Versuche, bei denen namentlich das Verhalten von Leitungsvermögen und localer Reizbarkeit für sich beachtet werden sollten.

Wiederum überzeugte ich mich zunächst, ob ein „wasserstarrer" Nerv durch nachträgliche Behandlung mit physiologischer oder hypertonischer Kochsalzlösung wieder erregbar und leitungsfähig gemacht werden kann. Dabei ergab sich eine Bestätigung der Kölliker'schen Angaben. Ich benutzte gleichfalls den im Zusammenhang mit dem Gastrocnemius möglichst lang präparirten Ischiadicus grosser Esculenten und reizte mit Platinelectroden von 1 mm Abstand. Der Nerv wurde zuvörderst in ganzer Länge, bis an den Muskel heran in ein Uhrschälchen mit destillirtem Wasser gelegt. Wie beim Muskel sank allmählich die Reactionsfähigkeit, doch sehr viel langsamer als beim curarisirten Muskel. Es vergingen durchschnittlich 4 Stunden ehe Reizung des Nerven von keiner Stelle seiner Länge aus mehr Zuckungen auslöste. Auch in Kölliker's Versuchen war der Verlauf ein ähnlich langsamer.

Hierbei zeigten sich die bekannten auffälligen Veränderungen im Aussehen des Nerven[1]. Das Volumen nimmt bedeutend zu, an den Querschnitten quillt die Nervensubstanz weit vor, der ganze Nerv sieht weisslich getrübt aus. Er ist, wie ein ebenso behandelter Muskel, nicht mehr schlaff wie vor der Wassereinwirkung, sondern steif.

Hatte ich die Unerregbarkeit des Nerven bis dicht an den Muskel für Inductionsschläge bei übereinander geschobenen Rollen festgestellt, so brachte ich denselben in eine 2 procentige Kochsalzlösung, später in eine 0·5 procentige. Hierbei zeigte sich fast regelmässig eine Rückkehr der Erregbarkeit fast bis zur anfänglichen Empfindlichkeit, und zwar hatte schliesslich auch Reizung des centralen Nervenendes Erfolg. Auch zur vollständigen Wiederherstellung der Erregbarkeit bedurfte es einer ungemein langen Einwirkung der Kochsalzlösungen. Oft kehrten erst nach 10 bis 14 stündiger Dauer der Salzeinwirkung die ersten Zeichen der Erregbarkeit zurück!

An zweiter Stelle versuchte ich Näheres über das Verhalten des Reizleitungsvermögens unter Wassereinwirkung zu ermitteln. Zu dem Zwecke

[1] Harless, *Münchener gelehrte Anzeiger.* 10. Juli 1857. — Birkner, Ueber den Werth des Wassers in der Nervensubstanz. *Dissertation.* Augsburg 1857.

versenkte ich den mittleren Abschnitt (etwa das mittlere Drittel) des Nerven in destillirtes Wasser. Es fielen dann hier die oben beschriebenen Veränderungen im Aussehen des wasserstarren Theiles besonders in die Augen wegen des Gegensatzes zu dem Aussehen der unveränderten Abschnitte: die beträchtliche Quellung, weissliche Trübung, dazu die Steifheit.

Regelmässig zeigte sich bald eine Herabsetzung der Erregbarkeit im wasserstarren gegenüber dem vom Muskel entfernteren, normalen Abschnitte. Bei einem Rollenabstande, bei welchem vom oberen normalen Drittel aus Zuckungen noch ausgelöst wurden, kamen solche bei Reizung des wasserstarren Abschnittes nicht zu Stande! Der Schwellenwerth der Reizstärke stieg an beiden Stellen, jedoch für die in Wasser gequollene viel schneller. Schliesslich erwiesen sich auch die stärksten Reizungen an beiden Stellen unwirksam, doch stets später die der oberen nicht gequollenen Strecke. Hiernach wirkt das Wasser auf Anspruchsfähigkeit und Leitungsvermögen wie des Muskels so auch des Nerven in wesentlich derselben Weise ein wie nach Grünhagen's[1] bekannten Versuchen die Kohlensäure, und nach Efron[2] der Amylalcohol auf den Nerven. Indem es wie diese Stoffe eine weitgehende Schädigung, sogar völlige Vernichtung der Anspruchsfähigkeit für directe electrische Reize erzeugt und das Leitungsvermögen gleichzeitig nicht oder doch vergleichsweise viel schwächer beeinträchtigt, giebt es ein neues Beweismittel für den Satz, dass wie beim Muskel so auch beim Nerven Leitungsvermögen und Reizbarkeit zwei verschiedenartige, specifische Functionen sind. Auch hier sei noch besonders an die wichtige Arbeit Piotrowski's erinnert, welcher diese Unabhängigkeit der beiden Functionen für den Nerven (Ischiadicus des Frosches) durch sorgfältigste und vielseitigste Untersuchung seines Verhaltens bei Einwirkung von CO_2, CO und Alcohol nachwies. Von seinen Ergebnissen sei namentlich noch hervorgehoben, dass Alkoholdampf auf den Nerven in gleichem Sinne wirkt wie auf den Muskel, nämlich nicht so wie CO_2 und CO das Leitungsvermögen weit weniger als die örtliche Reizbarkeit schädigt, sondern umgekehrt.

Am Nerven zeigte sich mir noch besonders deutlich eine Erscheinung, die mir auch am Muskel schon vielfach aufgefallen war. Ich beobachtete bei fortschreitender Wasserstarre, wenn ich die Unerregbarkeit für eine gewisse Reizstärke festgestellt hatte, dass durch mehrfache Wiederholung des Reizes die Erregbarkeit für diese Reizstärke häufig wieder zurückkehrte. So wurden oft Unterschiede in der Erregbarkeit des wasserstarren Ab-

[1] A. Grünhagen, Versuche über intermittirende Nervenreizung. Pflüger's *Archiv*. 1872. Bd. VI. S. 180.

[2] J. Efron, Beiträge zur allgemeinen Nervenphysiologie. *Ebenda*. 1885. Bd. XXXVI. S. 498.

schnittes des Nerven oder Muskels gegenüber derjenigen der unveränderten Abschnitte durch mehrfache Reizung des ersteren wieder ausgeglichen. Es stellte sich auch an Nerven und Muskeln, die ihrer ganzen Länge nach in destillirtes Wasser versenkt waren, häufig die Erregbarkeit für eine gewisse Reizstärke wieder ein, nachdem vorher durch eine grössere Anzahl starker Inductionsschläge die Unerregbarkeit wiederholt festgestellt war — während vorher die Zuckungen regelmässig ausgeblieben waren, traten sie nach einer Reihe von Reizen bei derselben Reizstärke wieder ebenso regelmässig auf.

II. Einwirkung hypertonischer Kochsalzlösung.

Aehnliche Resultate wie mit Wasser erhielt ich bei Versuchen mit hypertonischer Kochsalzlösung. Ich versenkte den Nerven in eine 3 procentige Lösung, wonach dann nicht selten spontane Zuckungen des zugehörigen M. gastrocnemius ausbrachen. Nach 5 bis 6 Stunden war der Nerv vollkommen unerregbar für Oeffnungsschläge bei übereinander geschobenen Rollen und 4 Volt Klemmspannung im primären Stromkreis. Darauf versenkte ich den Nerv in eine hypotonische 0·2 bis 0·3 procentige Kochsalzlösung. Hier stellte sich in verhältnissmässig kurzer Zeit, $^1/_2$ bis 2 Stunden, die Erregbarkeit vollständig wieder her. Der Nerv war unter der Einwirkung der hypertonischen Kochsalzlösung von schlafferer Consistenz wie in normalem Zustande, im übrigen zeigte er kaum ein verändertes Aussehen. Auch rücksichtlich der Kochsalzlösung kann ich also Kölliker's Ergebnisse bestätigen.

Zum Schluss dieser Arbeit sei es mir gestattet, Herrn Geheimrath Engelmann, der die Anregung zu derselben gegeben und ihr auch fernerhin das wärmste Interesse entgegengebracht hat, meinen verehrungsvollsten Dank auszusprechen. Auch Herrn Prof. Schultz bin ich für Durchsicht des Manuscripts zu grossem Dank verpflichtet.

Thesen.

I. Contractilität, Erregbarkeit und Leitungsvermögen sind drei wesentlich von einander unabhängige Functionen der quergestreiften Muskelsubstanz.

II. Die künstlichen Nährpräparate werden bezüglich ihrer Bedeutung für unsere Ernährung vielfach überschätzt.

III. Bei der Behandlung des Abortus empfiehlt es sich, der digitalen Ausräumung vor dem Curettement in allen angängigen Fällen den Vorzug zu geben.

Lebenslauf.

Verfasser dieser Arbeit wurde am 29. November 1877 zu Hildesheim, Regierungsbezirk Hildesheim, geboren, ist altkatholischer Confession und besuchte das Königliche Realgymnasium auf der Burg zu Königsberg, Ostpreussen, an welchem er am 13. März 1897 das Reifezeugniss erhielt. Ostern 1897 liess er sich an der Universität zu Königsberg immatriculiren und bei der philosophischen Facultät inscribiren. October 1898 erhielt er auf Grund einer Ergänzungsprüfung im Lateinischen und Griechischen das Gymnasialreifezeugniss am Altstädtischen Gymnasium zu Königsberg, worauf sich Verfasser bei der medicinischen Facultät inscribiren liess. Auf eine Verfügung des Kultusministeriums wurden ihm von den verflossenen drei Semestern zwei auf das medicinische Studium angerechnet. October 1899 liess sich Verfasser an der Universität zu Berlin immatriculiren und bestand hier Ostern 1900 die ärztliche Vorprüfung. Im August 1902 liess er sich exmatriculiren, trat in das medicinische Staatsexamen ein und erhielt Mai 1903 die Approbation als Arzt.

Während seines Studiums hörte er Vorlesungen und Curse bei folgenden Herrn Professoren:

Dr. Baumgart, v. Bergmann, Braun, Engelmann, Gerhard, Greeff, v. Hansemann, Hermann, Hertwig, Koblanck, Lexer, Liebreich, Lossen, Michaelis, v. Michel, Munck, Nagel, Olshausen, Pape, Rubner, Stieda, R. Virchow, Waldeyer, Walter, Zander,

und Privatdocenten:

Dr. Bendix, Grabower, Hallervorden, Oestreich, Pels-Leusden.

Seinen hochverehrten Lehrern spricht Verfasser an dieser Stelle seinen ehrerbietigsten Dank aus.